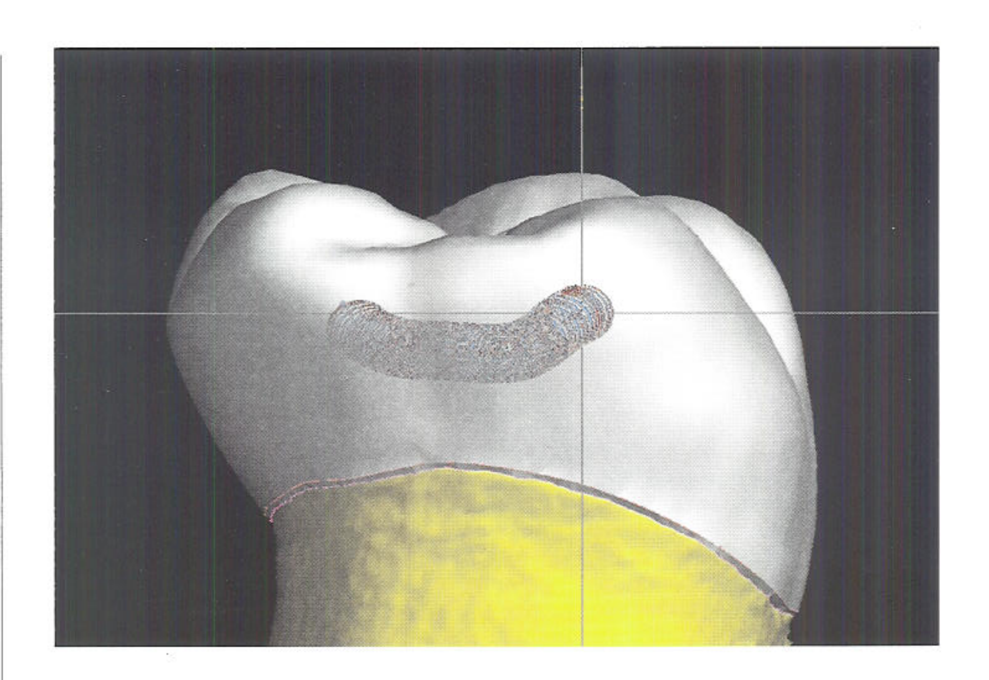
RÉALITÉS CLINIQUES

TIRE A PART

GROUPE DE PRESSE id L'INFORMATION DENTAIRE
40 AVENUE BUGEAUD 75784 PARIS CEDEX 16
TÉL 01 56 26 50 00 • FAX 56 26 50 01
E MAIL info@information-dentaire.fr

LA RECHERCHE DE L'ESTHÉTIQUE DANS LA TECHNOLOGIE CFAO

François DURET

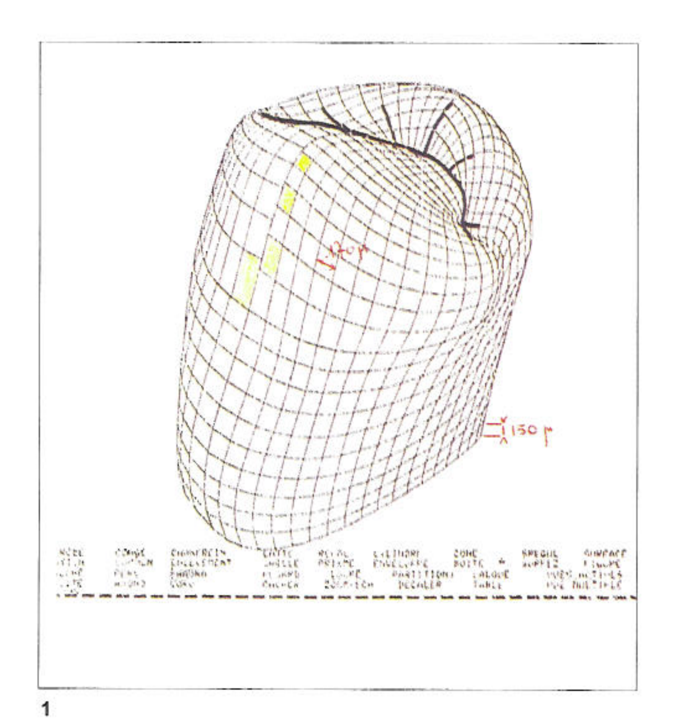


RÉSUMÉ

L'intégration de règles esthétiques est un élément majeur des reconstructions prothétiques en CFAO dentaire. La méthode suivie par cette technologie se divise en trois ensembles, la mémorisation des règles et des bases, comme par exemple la morphologie des dents théoriques, la prise d'information dans la bouche du patient et enfin le regroupement de ces deux éléments au sein d'un logiciel spécifiquemment adapté. La remarquable définition des vues, ainsi que l'évolution spectaculaire de la robotique associée à une chute des coûts garantissent l'avenir de cette technologie de pointe.

L'esthétique est certainement le paramètre le plus controversé de la technologie CFAO : Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur. Peut-on imaginer de créer, de modifier une reconstitution esthétique en utilisant la CFAO dentaire ? Pour répondre à cette question nous proposons de retracer la démarche que nous avons suivie de 1980 à 1995 (10). La méthode de modélisation informatisée a été largement reprise. En particulier, le concept de la dent théorique totale (31, 37) ou par quadrant (35) se retrouve dans tous les développements contemporains (1, 21, 25, 26, 33, 39). Elle nous permet de comprendre les corrélations entre informatique et dentisterie traditionnelle.

Parmi les nombreuses définitions de l'esthétique (24, 27, 28), nous retiendrons celle utilisée par Preston (30) : "Recherche des règles et du sens de la beauté, description des réalisations, résultant de cette étude, objectivement belles, attractives et d'un plaisir évident". L'esthétique, bien que très subjective, est cependant quantifiable. Pourtant le patient reste le principal objectif car, comme l'a dit Margaret S. Hungerford, "La beauté



1



2

Fig. 1 - En 1980, la première modélisation fut celle d'une prémolaire inférieure. Il fallait environ 40 mn de construction et 4 quadrants pour bâtir ce modèle volumique

Fig 2 - En 1984, la modélisation volumique est abandonnée au profit d'une modélisation surfacique, en Surface de Bézier, avec les premiers rendus en couleurs. Ce n'est alors qu'un effet "marketing" sans aucune incidence sur l'esthétique de la préparation

est dans les yeux de celui qui la porte", donc surtout dans les yeux des patients. Tout traitement esthétique doit donc tenir compte à la fois des impératifs de construction et des éléments propres au patient. En CFAO le travail avec le patient est une étape préliminaire capitale afin que l'information soit utilisée par l'informatique et les programmes pré-mémorisés.

ÉLÉMENTS DE BASE DE L'ESTHÉTIQUE

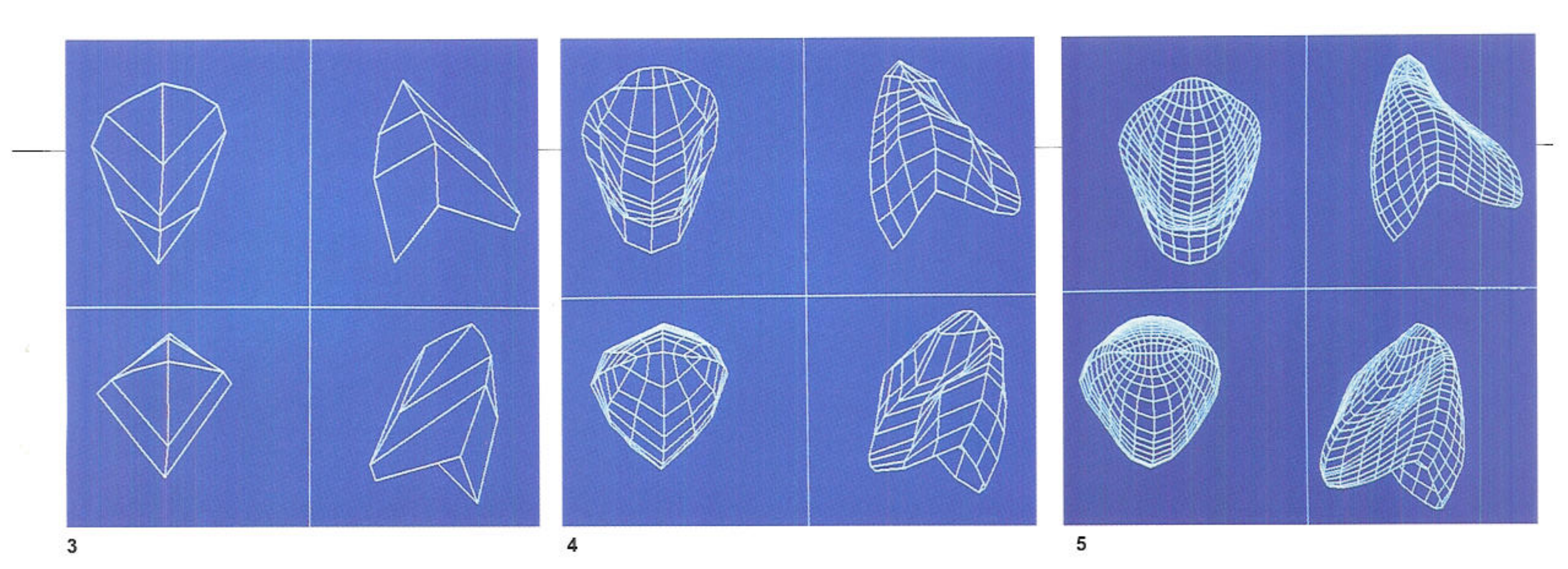
Deux types d'information seront utilisés pour la création d'un élément prothétique dentaire :

- les informations de base et les données pré-mémorisées :
  - la dent théorique,
  - les arcades théoriques et les informations associées,
  - les softwares généraux (Catia, Euclide...) et spécifiques (Hennson [1], le GN1 de GC-Nikon...) ;
- les informations recueillies sur le patient :
  - la préparation et les dents proximales,
  - les dents antagonistes,
  - les rapports de l'occlusion statique et dynamique,
  - les informations secondaires comme l'état civil ou la vue du visage.

Les informations pré-mémorisées

Les dents théoriques sont une représentation spatiale modélisée, en "fonctions mathématiques", des 32 dents de l'adulte, des 20 dents de l'enfant, des intermédiaires de bridge, des formes de coiffes, des conjoncteurs, des implants..., soit toute représentation de base qu'il s'agit seulement de personnaliser.

[1] Hennson (Vienne-France) ayant développé le premier système de CFAO dentaire appelé aussi Duret System


3 4 5

Nous entendons par dent théorique (40), non pas la représentation spatiale d'une dent ou d'un objet quelconque dentaire au sens physique du terme, mais une formulation mathématique représentative de tout ou partie d'une dent permettant de porter sur un moignon l'information nécessaire et suffisante pour reconstruire la prothèse. Cela n'est ni limité dans le temps ni dans l'espace. Si dans les premiers temps de la modélisation par CFAO nous avions une dent entière et modélisée, très rapidement nous sommes passés à une modélisation par quadrant avec séparation de la partie inférieure, dénommée alors "bol" (7) de la partie occlusale. Les exemples présentés sont ceux de la première modélisation en 1982 (23), d'une modélisation surfacique en 1985 (41) et de la modélisation d'une même canine avec une formulation mathématique de plus en plus complexe (8) (fig. 1 à 6).

Ce qui fait la force de la CFAO en terme de modélisation morphologique esthétique c'est que nous pouvons :

• avoir une bibliothèque spécifique et conçue par des spécialistes,
• la personnaliser,
• la faire évoluer.

A chacune des dents théoriques sont associées des informations précises (4, 7) permettant leur déformation ceci en respectant certaines règles comme la valeur maximale d'un angle de déformation (6) ou d'inclinaison (ces règles ont été incorporées aux softwares de modélisation après de nombreuses tentatives et de nombreux constats d'échec). Comme le montrent les figures 7 et 8, l'axe central, le barycentre de la modélisation et chaque partie anatomique comme la ligne de plus grand contour, la zone de contact ou les sillons et cuspides, sont clairement individualisés pour permettre une intervention plus aisée. Actuellement, dans le système GN-1 de GC-Nikon, cette représentation très scolaire est abandonnée au profit de représentations surfaciques avec effet de couleurs (fig. 7 et 8).

Fig. 3, 4, 5 - En 1986, la forme surfacique est définitivement abandonnée au profil des formes polynomiales filaires qui ont plusieurs avantages : affichage rapide pour les ordinateurs de l'époque, simplicité de manipulation et interactif précis. Nous pouvons choisir la vitesse de travail en fonction de la représentation à l'écran. Cette canine, par exemple, est strictement la même mais elle utilise une représentation de plus en plus précise, d'un degré polynomial de plus en plus élevé, permettant une meilleure représentation esthétique. Par contre plus elle est précise et plus le calcul d'affichage est complexe et donc lent

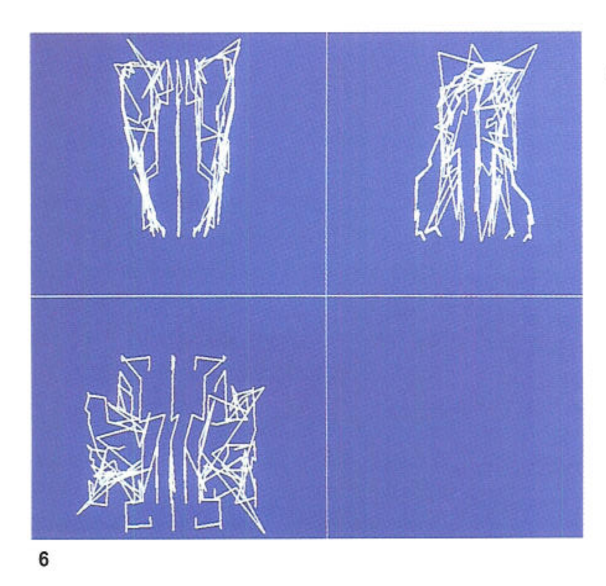
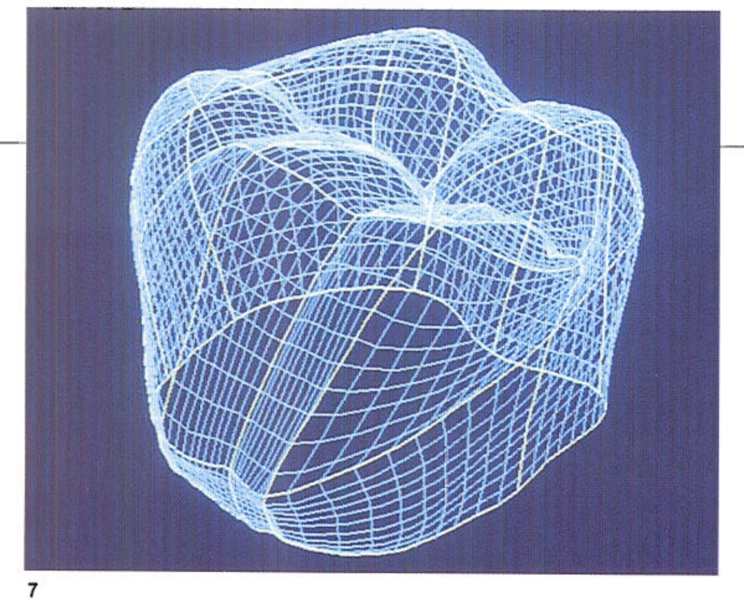
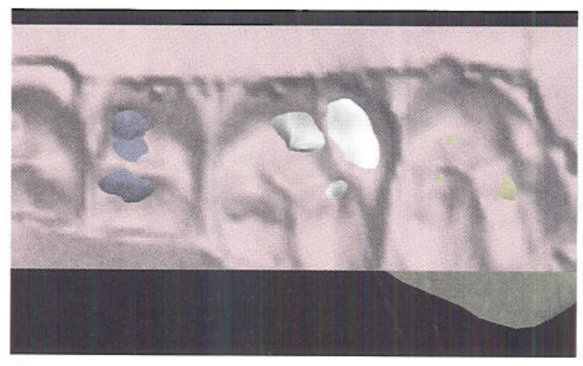

6

Fig. 6 - Représentation purement mathématique de la canine

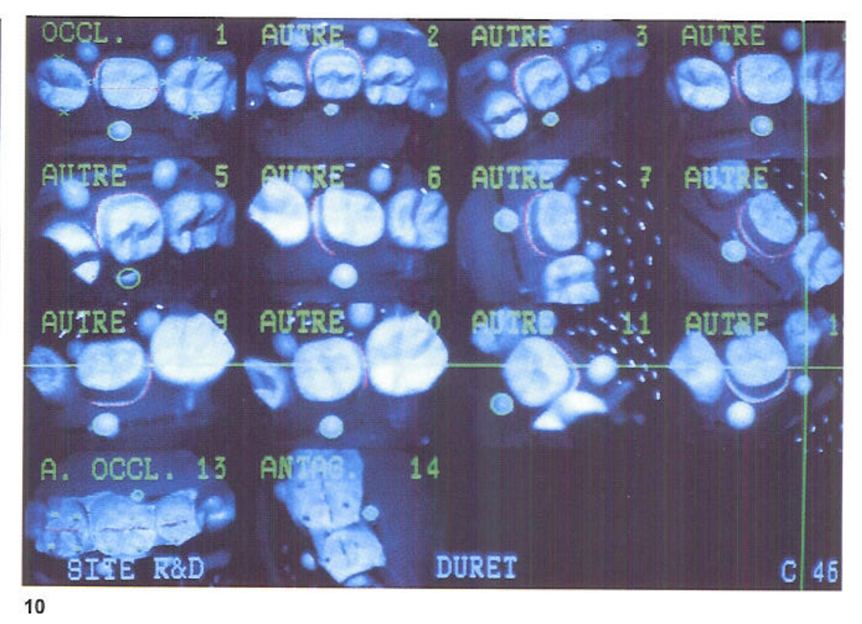


7



8

9



10

Fig. 7- Lignes essentielles d'une construction anatomique :
- ligne de finition
- ligne des plus grands contours
- ligne des crêtes marginales
- ligne des contacts
- ligne des sillons
- ligne des crêtes des cuspides

Fig. 8 - Données de l'occlusion et lignes des gouttières en représentation surfacique dans le système GN-1 de GC-Nikon

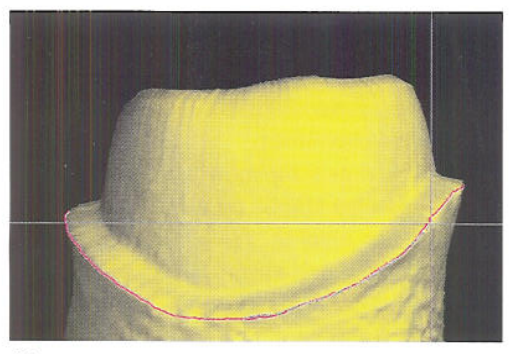
Fig. 9 - Vue de la prise d'empreinte de la préparation et des repérages anatomiques

Fig. 10 - Ensemble des prises de vues assurant la prise de l'ensemble des données nécessaires à une construction adéquate

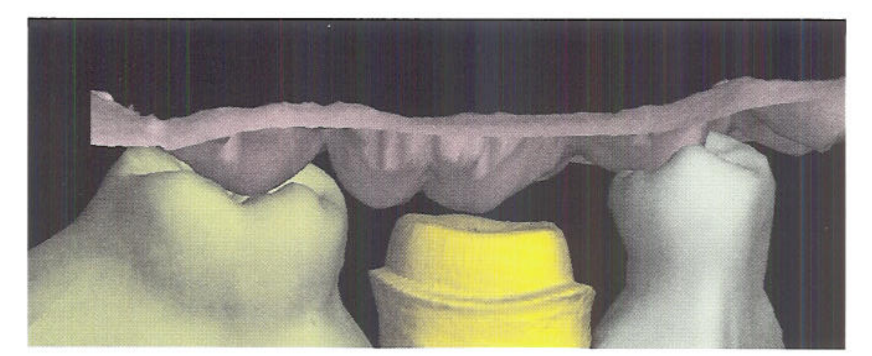
Ce qui est plus important encore c'est que chacune de ces lignes essentielles est soumise à des contrôles dits "extrêmes" empêchant l'apparition d'aberration de modélisation, sorte de garde-fou de la forme esthétique externe. En final, il en résulte un flot d'informations à plusieurs étages que nous décrirons ultérieurement.

Les arcades théoriques (20) et les informations associées font bien entendu partie des éléments dont nous devons disposer pour placer chaque élément (dent) théorique dans une position correcte et esthétique avant de le personnaliser. L'appel de la dent théorique conduit à l'appel de ces éléments de construction qui permettront un bon placement. Seront incluses dans ces informations basiques la dent (38), si elle existe, mésiale et distale de la préparation.

Les logiciels généraux et spécifiques ont été choisis en fonction de leur aptitude à permettre une bonne modélisation (respect des courbes et angles anatomiques) (fig. 9 et 10).



11



12

Les informations recueillies sur le patient

La préparation et les dents proximales sont les premières informations qui doivent être apportées au software pour qu'il puisse travailler correctement. Ces informations doivent être précises, tant par le nombre de points représentatifs, que par le respect des angles des zones importantes : ligne de finition, épaulements, etc. Nous pouvons affirmer aujourd'hui qu'une empreinte optique est plus précise, plus complète et plus reproductive qu'une empreinte traditionnelle. Avec une résolution de quelques microns, elle affichera facilement une précision de 20 µm permettant de repérer facilement des éléments de construction aussi importants que le barycentre de son volume interne (intrados) et sa ligne de finition. Il est à regretter que, d'une manière générale, les dents proximales soient un peu oubliées en terme de nombre de points. La modélisation esthétique en souffre trop souvent (fig. 11 et 12).

Les dents antagonistes sont nécessaires pour les informations qu'elles apportent dans la modélisation de l'occlusion et aussi, dans le secteur antérieur, pour la définition des embrasures des dents. Le software sait reconnaître ces informations pour actionner certains coefficients correcteurs lors de la modélisation de la prothèse. Il en est de même des informations sur l'occlusion statique et dynamique, mais les informations tirées de ces analyses servent plus à des corrections fonctionnelles qu'esthétiques.

Enfin restent **les informations secondaires** comme l'état civil du patient (âge...) ou la vue du visage. La fiche du patient informe l'ordinateur sur le type d'information qu'il devra trouver dans l'empreinte et quel moteur informatique il devra utiliser. L'esthétique a une place importante puisque l'âge et la race orienteront vers un type précis de bibliothèque de dents théoriques, tandis que la vue vidéo permettra de proposer, en vue spatiale, la nouvelle arcade ou la nouvelle prothèse. Nous avons même utilisé cette vue frontale pour définir le pourtour visible de la prothèse en mesurant la dent symétrique (suivie d'une inversion) ou en mémorisant la forme avant la taille, avec ou sans une reconstitution provisoire partielle ou totale.

Ces éléments étant réunis, nous sommes en mesure de mettre en route les étapes de création de l'enveloppe esthétique de la dent.

Fig. 11 - Représentation d'une modélisation et sa ligne de finition dans le système GN-1.
On notera l'extrême qualité des vues surfaciques et l'esthétique des rendus réalistes très supérieurs et plus lumineux que la vue d'un die en plâtre.
Il ne faut jamais oublier que cette vue peut être grossie un grand nombre de fois et qu'il est toujours possible de travailler dessus

Fig. 12 - Vue de l'ensemble des dents proximales, antagonistes et de la préparation, dans le système GN-1

ÉLÉMENTS DE RECONSTRUCTION ESTHÉTIQUE EN CFAO

Le Pr Jack Preston a longuement étudié l'esthétique et il en est arrivé à définir des règles à suivre pour distinguer ce qui est beau de ce qui est laid dans une harmonie dentaire et faciale, mais aussi ce qui permet de le corriger. Le plus surprenant est que ces règles ont été utilisées dans la conception du software de modélisation du système de CFAO Henson sans qu'il n'ait existé un quelconque rapprochement entre nos équipes (7, 30). A nos yeux cette coïncidence explique sans doute le rapprochement des travaux d'esthétique et de CFAO, et valide le concept puisqu'il s'agit, non seulement d'une analyse menée séparément, mais aussi d'un développement dans deux milieux culturels fondamentalement différents.

Pour Preston (30), il existerait huit critères esthétiques à respecter. La question est de savoir si la CFAO est capable d'y répondre. Nous pensons qu'elle le peut et nous allons expliquer de quelle manière.

Ces critères sont :

- la dimension de la dent,
- les embrasures,
- le «long axis»,
- les zones de transition,
- les zones de contact,
- la position sur l'arcade,
- les surfaces de contour,
- les diastèmes.

Tous ces éléments se retrouvent dans les étapes de création de l'enveloppe externe de la dent par CFAO. Nous allons suivre le déroulement du système Henson et du système GN-1 de GC-Nikon.

Les dimensions de la dent

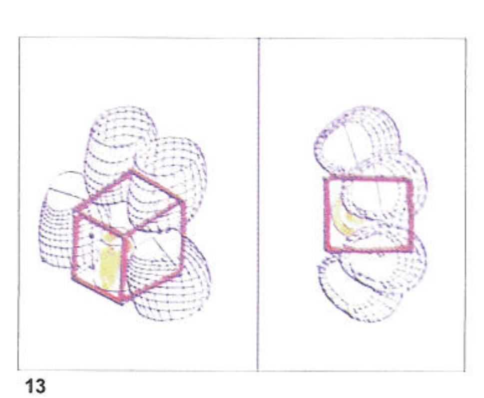
Chaque dent occupe un espace, que l'on appellera espace vital (6, 7, 13), et qui se compose de six plans (12) formant une boîte de déformation.

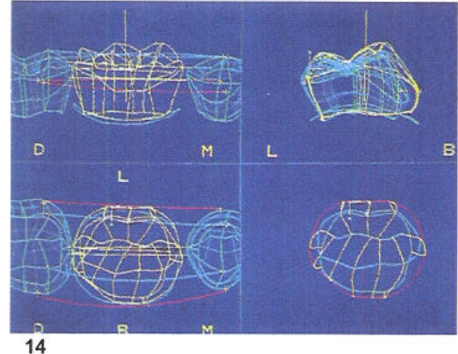
Cet espace vital est extrêmement important et il a fait l'objet de nombreuses études dans notre laboratoire allant des études génétiques de base aux études géométriques de construction. Il se compose d'un plan frontal, mésial, lingual, distal, occlusal et cervical. Les deux plans, frontal et lingual, de forme concave ou convexe, sont définis par la position de la dent sur l'arcade. Cette position est définie, à la fois par l'occlusion (la gouttière occlusale) mais aussi par la taille de la dent. Elle est en général alignée sur les dents voisines mais peut être aussi franchement en retrait (incisive latérale) ou en avant (canine ...). Ces plans ont fait l'objet d'une mémorisation pour chaque dent théorique. Leur positionnement reposera sur la

Fig. 13 - La mise en environnement a utilisé une boîte dans ses premiers temps...

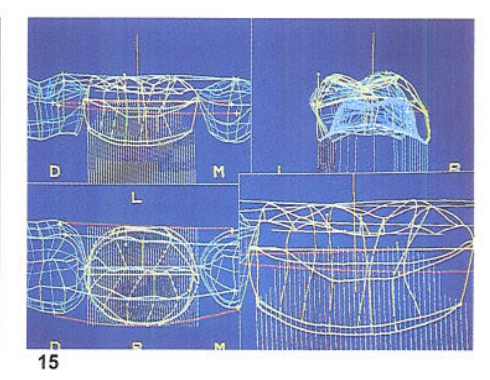
Fig. 14 - ... puis cet espace a été rapidement épuré de son aspect réel au profit d'une présentation plus sophistiquée...

Fig. 15 - ... permettant des mises en environnement automatiques précises

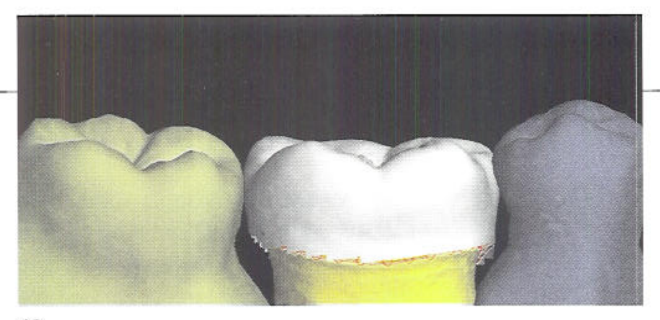

13



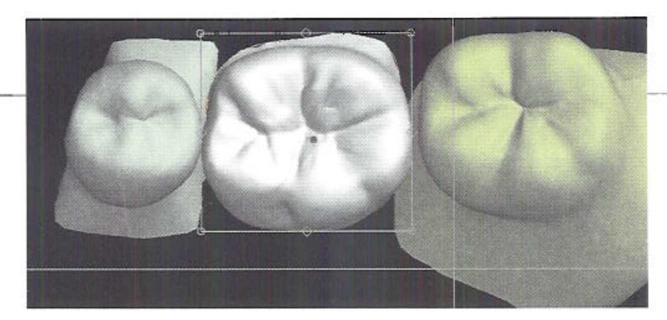
14



15



16



17

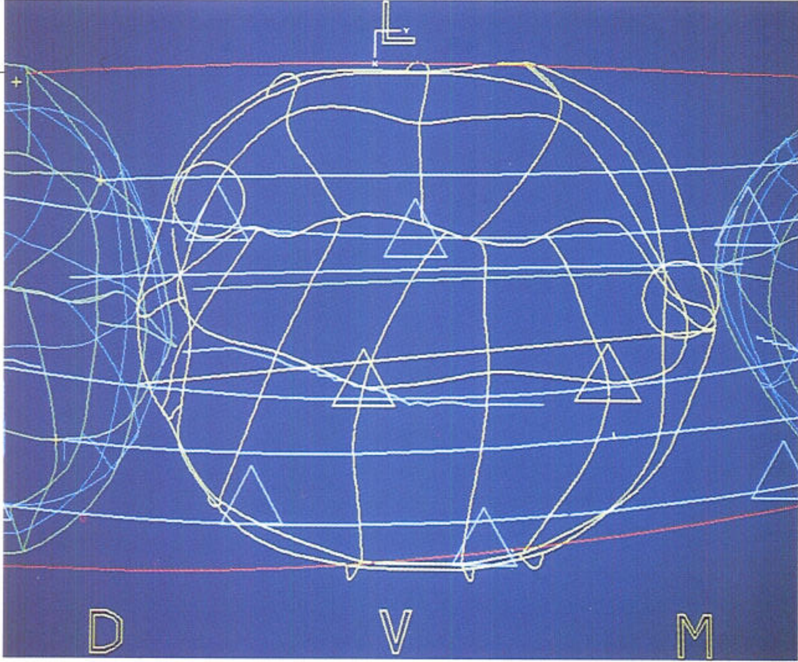
recherche de la ligne de plus grand contour des dents voisines (recherche aujourd'hui automatique).
Les deux plans proximaux admettent ou non le diastème et ont un positionnement qui dépend du point de contact de la dent proximale.
Le plan occlusal est défini par le positionnement de trois lignes générales : les deux courbes intercuspidiennes et la courbe inter-sillon des dents proximales, donc de la gouttière occlusale optique.
Le plan cervical, plan de section au niveau le plus bas de la ligne des collets, et ne correspondant pas obligatoirement à la ligne de finition, est défini par l'harmonie de la dent théorique moyenne et par celui des deux dents proximales.
Ces plans s'appuient sur des éléments reconnus dans l'environnement immédiat de la dent et en particulier sur les dents proximales. Les mises en conformité personnalisées et esthétiques fonctionnant automatiquement, ceci nous a laissé supposer dès 1984 que l'environnement pouvait jouer un rôle important dans la définition de la forme d'une dent (3). A l'encontre des théories génétiques pures où le génome détermine la forme de la dent, nous en sommes arrivés à développer une théorie complémentaire dit "de l'espace vital" admettant une prédétermination génétique globale de la dent, suivie d'une influence immédiate de l'environnement pour certains déterminants. La formation spatiale finale de la dent serait le résultat de la déformation d'une forme de base commune suivie (ou précédée ?) de l'action de l'espace vital composé à la fois de l'espace disponible sur l'arcade et celui des dents voisines. Pour démontrer ceci, nous avons présenté une forme simple, un cube dans un espace vital d'incisive, de canine, de prémolaire et de molaire... nous avons obtenu une prémolaire dans la partie postérieure des arcades et une canine dans les parties antérieures. Cette harmonie "informatique" fait ressortir la nécessité de savoir marier une forme et son environnement.
S'il n'existe aucune dent proximale, les éléments des dents théoriques définiront les limites de positionnement c'est-à-dire que la partie de la dent théorique qui n'est pas en regard d'une dent voisine ne sera pas modifiée.
Pour nous résumer, il existe dans la mémoire de l'ordinateur une bibliothèque de dents théoriques. Après le choix fait par le dentiste, de la ou des dents à reconstituer, celle-ci est mise en correspondance avec "la boite de déformation" (fig. 13 à 15).

Les embrasures

L'embrasure (2, 15) donne une image anatomique bonne ou mauvaise selon qu'elle est adaptée ou non. C'est une des parties les plus sensibles (30) et les plus influentes de la dent en terme "d'effet esthétique".
En CFAO, l'embrasure est traitée à trois niveaux :
• au niveau de la sélection du type de librairie de dents théoriques. Le praticien a le choix dans plusieurs types de bibliothèques, comme pour le traitement de texte de plusieurs types de

***Fig. 16** - La software apport de matière est en tout point comparable à l'apport de cire sur une maquette en cire : il se fait par couche de 50, 100 ou 200 µm*

***Fig. 17** - L'action manuelle permet de faire des manipulations aisées changeant radicalement l'anatomie dentaire*



18

Fig.18 - Le calcul de l'espace inter-radiculaire repose sur la définition de lignes courbes, dans l'espace réunissant les barycentres proximaux

caractères, mais il a aussi la possibilité de personnaliser sa propre librairie ;

- au niveau du moyennage entre la dent proximale antérieure et postérieure ;
- au niveau de la déformation interactive dans des menus type "dessin courbe" du système Hennson remplacé par la fonction ajout matière dans le système GN-1 (fig. 16 et 17).

Pour faciliter ce type de modification, il est nécessaire d'adjoindre une représentation séparée de la gencive. Il va de soi que la visualisation de la ligne cervicale est une aide appréciable (30). Nous voyons le profil de l'embrasure avant de voir la dent elle-même, car cette zone représente la frontière entre l'espace négatif (le sombre de l'intérieur de la bouche) et l'espace positif (la surface dentaire elle-même).

Les embrasures incisales sont progressivement accentuées de l'incisive à la molaire. L'analyse que nous avons développée récemment nous permet de retrouver la forme des embrasures proximales afin de créer un dessin intermédiaire et moyen entre l'embrasure mésiale et distale. Ceci permet de respecter la personnalité moyenne du visage, mais aussi de suivre cette évolution avec l'âge et l'historique de la personne. Une dent théorique doit subir une personnalisation liée au type d'anatomie, mais aussi à l'évolution de cette anatomie durant la vie de la denture que nous reconstituons.

Les embrasures frontales (faciale) créent l'aspect massif ou non de la dent. En CFAO elles doivent toujours être sous-dimensionnées afin de réduire la translucidité toujours déficiente d'une prothèse par rapport aux dents naturelles. Nous retrouvons au niveau du software une correction angulaire variant de 0° à 90° par étapes de 5°.

Les embrasures cervicales, zones de fixation du patient car souvent traumatisées lors du traitement, ne sont que la moyenne entre les dents proximales. Ce sont surtout les menus interactifs de type "matières" ou "dessins courbes" qui permettent d'en modifier avantageusement l'anatomie. Nous savons que la morphologie des embrasures cervicales dépend de différents facteurs que la CFAO résout de la manière suivante :

- morphologie coronaire : la recherche du point de contact au moment de la prise d'empreinte associée au choix de la dent théorique et du moyennage des dents proximales assure un bon compromis ;
- l'influence de la morphologie radiculaire (son volume en particulier) nous oblige à représenter le départ de la racine pour bien respecter une embrasure cervicale collant à l'anatomie de la dent.

L'espace inter-radiculaire, en CFAO, est retrouvé grâce à des calculs mathématiques classiques : les plans cervicaux des dents proximales sont déterminés dans les nuages de points de chacune d'elles, puis les barycentres géométriques sont calculés et réunis par une droite légère-

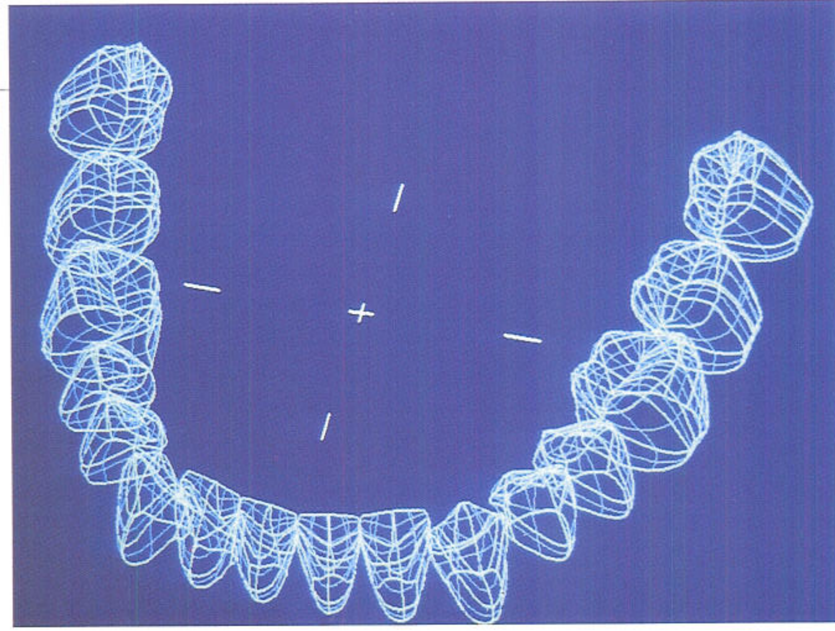
ment courbe et parallèle à la courbe intercuspidienne. Nous pouvons alors retrouver le barycentre radiculaire et placer le plan cervical de la dent théorique déformée en respectant la déformation du plan de la ligne du plus grand contour (fig. 18).

■ Le «long axis»

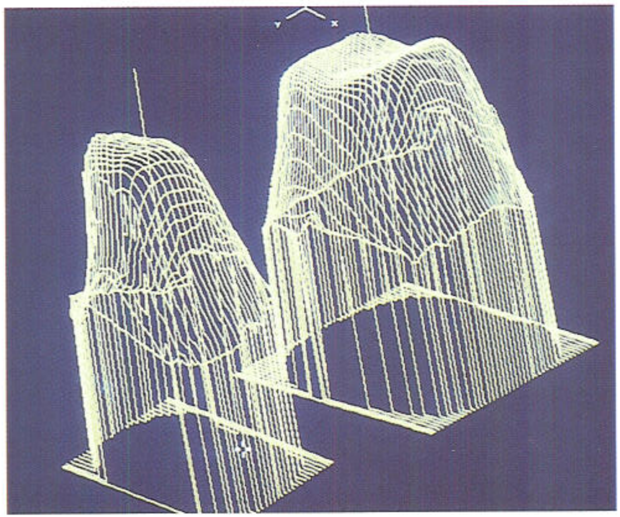
Le «long axis» est l'élément le plus important de la mise en place automatique d'une dent théorique car il permet sa bonne ou mauvaise implantation. Dans ce dernier cas aucune modification manuelle ne saura la rattraper en temps raisonnable (fig. 19 et 20).

Dans les données accompagnant les dents théoriques (19), nous trouvons des données morphologiques comme par exemple le barycentre, le «long axis» ou les lignes du plus grand contour. Nous trouvons aussi des types de modifications morphologiques à appliquer dans le temps ou en fonction de l'âge du patient (élargissement des surfaces de contact), de l'inclinaison de la dent, de l'existence d'une racine visible ou de données fonctionnelles comme les repères occlusaux : les sommets et les angles cuspidiens, les contacts tripodiques ou les sillons latéraux. Toutes ces données accompagnent la dent théorique lorsqu'elle est utilisée dans le software.

Le «long axis» faisant partie de ces données, il nous suffit de le positionner dans l'espace vital de déformation à une nuance près. Le grand axe de toutes les dents théoriques a été mémorisé dans l'espace d'une arcade parfaite ; l'axe qui est proposé dans l'espace vital est un axe moyen "de placement automatique" et le praticien a la possibilité de le corriger manuellement en jouant sur les angles mésio-distal et vestibulo-lingual. Le praticien peut ainsi proposer une inclinaison harmonieuse de la dent et non une déformation incontrôlable trop souvent vue dans beaucoup de logiciels de modélisation actuels.



19



20

Fig. 19 et 20 - «Long axis» des dents théoriques et de la reconstitution. Base du placement automatique dans le système Hennson, il s'agit plus d'une ligne réunissant différents barycentres des volumes dentaires

■ Les zones de transition

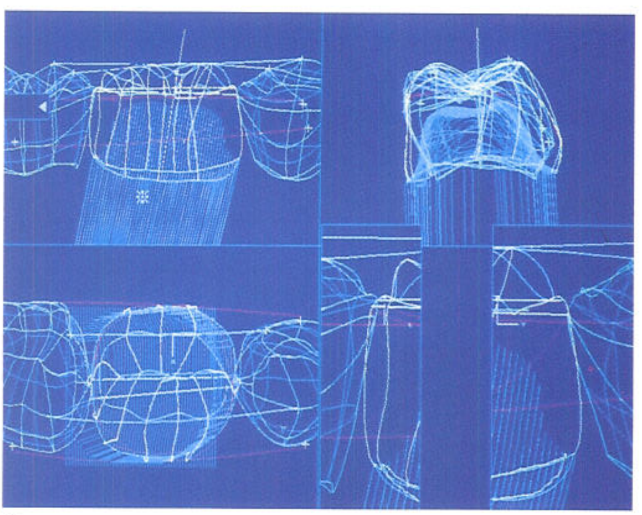
La zone de transition est la zone de jonction des surfaces des dents voisines. Cette zone est dépendante des embrasures, de la forme de la dent, de sa texture, de sa position et surtout de la position du point de contact, donc de la qualité de la modélisation théorique et des règles qui dirigent sa déformation.

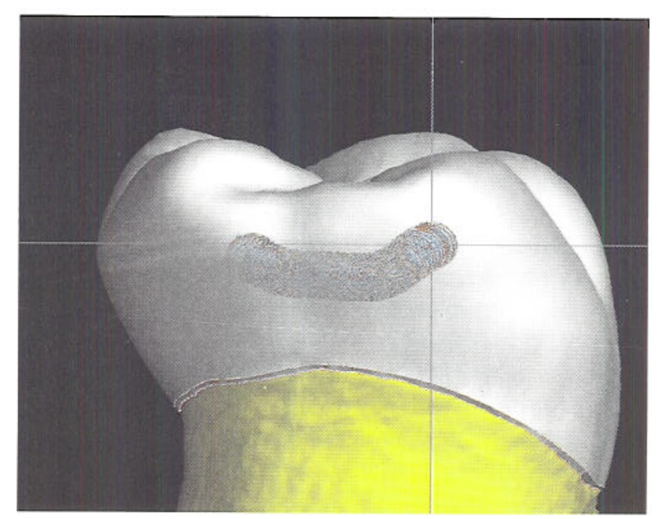
Il existe plusieurs manières de travailler ces surfaces de contact mais l'automatisme de reconnaissance et de placement joue un grand rôle.
Le choix de la dent théorique, puis son éventuelle personnalisation, permettent déjà de résoudre à 80% le problème des zones de transition. La modification en fonction de l'âge du patient (indiquée en fiche de renseignement) conduit inévitablement le logiciel à élargir ces zones. Vient ensuite l'effet dit de symétrie, qui consiste à reconnaître la forme de la surface de la dent proximale ou de sa ligne de plus grand contour comme dans le Cerec (32, 34) pour la reproduire symétriquement par rapport au plan de contact. Cette dernière méthode est à utiliser avec modération car elle peut dépersonnaliser une anatomie.

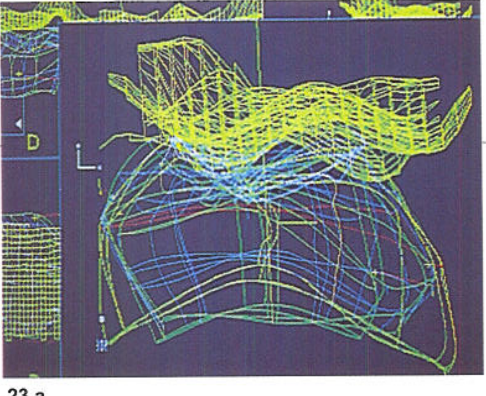
Les zones de contact

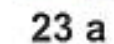
Nous avons expliqué que le software de modélisation renferme en lui l'histoire prévisible et logique de l'agrandissement des zones de contact. C'est une méthode très efficace, spectaculaire et en général automatique. Le simple fait d'indiquer la date de naissance du patient implique la personnalisation de la dent.
Suivront des méthodes plus sophistiquées comme celles utilisées dans les logiciels destinés au Système GC : projection dans le plan frontal du profil général du nuage de point des dents proximales du patient, corrélation avec les dents théoriques et recherche de fonctions surfaciques ou volumiques correctives qui seront appliquées à la dent théorique.
Ceci conduit globalement à affiner la personnalisation de la dent.
Il va sans dire que la zone de contact est placée à la jonction de la ligne de plus grand contour et des surfaces disto-vestibulaires et linguales et mésio-vestibulaires et linguales. Il va de soi aussi qu'il est possible de modifier ces lignes par action interactive avec le menu "matière" ou "dessin courbe" mais l'opération reste délicate et nous lui préférons la méthode incrémentale du Nikon System (fig. 21 et 22).

Fig. 21 et 22 - Deux modifications des zones de contact par la méthode Hennson en 1988 et par la méthode Nikon-GC en 1998. Le progrès est indiscutable et le rendu esthétique amélioré


21


22

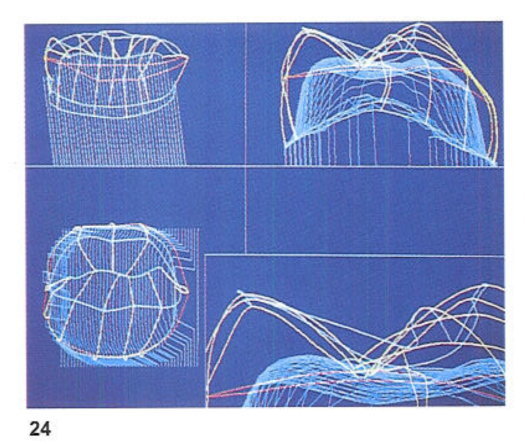




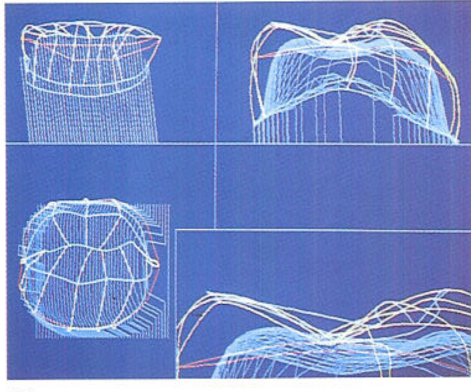
23 a



23 b



24

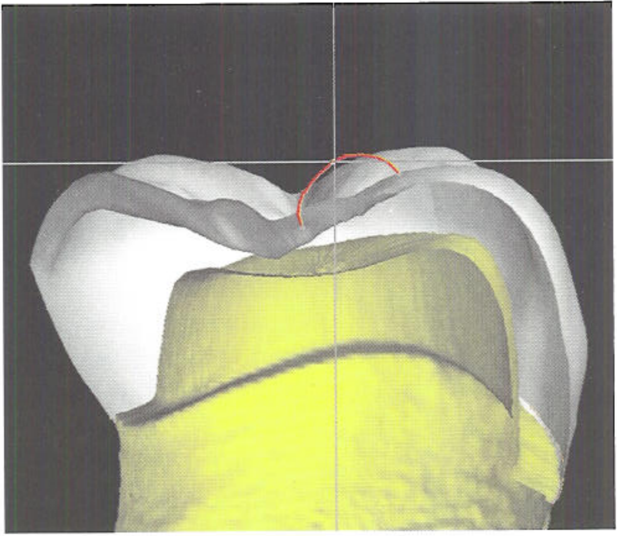


25

La position sur l'arcade

Une dent théorique a une position bien mémorisée sur l'arcade. La mise en place dans l'espace vital personnalise cette position et c'est le menu d'occlusion qui l'affinera avec les rapports inter-arcades. La description du logiciel d'occlusion ne fait pas l'objet du présent article, quoique fondamental dans ses implications esthétiques au moment des déformations, mais nous préciserons qu'il se compose de trois étapes majeures :

- choix d'une morphologie conceptuelle en bibliothèque gnathologique imposant une surface occlusale tripodique, ou en bibliothèque fonctionnaliste permettant des *long et wide centric* de morphologie plus ... douce ;
- mise en occlusion statique, grâce à la prise d'empreinte de l'anatomie antagoniste par le mordu négatif et permettant la modélisation plus fonctionnelle de l'esthétique prédéfinie ;
- mise en occlusion dynamique (Access Articulator) (9, 11), suivi des mouvements dans l'espace et suppression de tout contact néfaste (fig. 23 à 26).



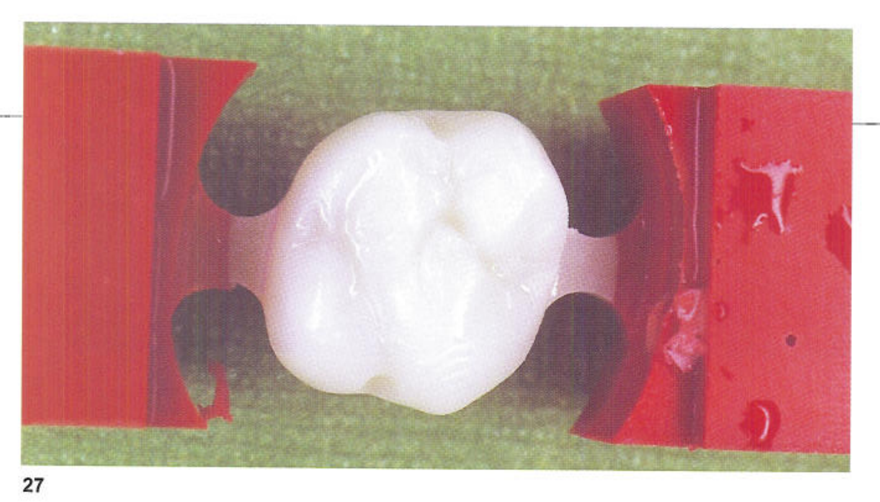
26

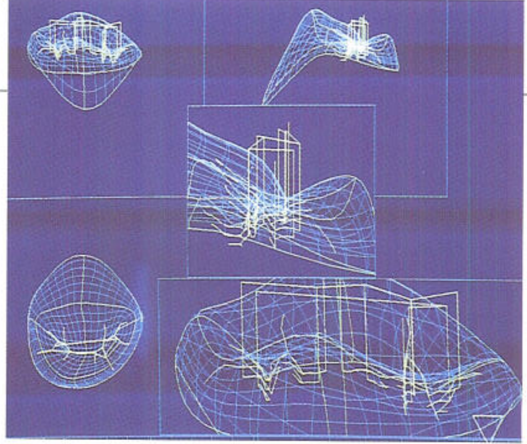
Fig. 23 à 26 - Différentes étapes de modélisation occlusale respectant les indications de l'articulateur électronique, qui les transmet sous forme de courbes dans l'espace, en fonction de la référence constituée par le mordu initial de la prise d'empreinte statique

La surface de contour

Nous avons, d'une part la texture de surface, que peut rendre très avantageusement un bon usinage, mais aussi une bonne finition manuelle qui reste un élément très important du travail en CFAO. Pour ce qui est de la ligne de contour, très spécifiquement délimitée dans les dents théoriques antérieures, l'utilisation de la forme du visage est un élément capital. Nous identifions les types de J.L. Williams (carré, losange, ovale...) grâce à la caméra externe, puis nous reportons cette analyse sur un élément de la fiche du patient qui conduira à une modération automatique de la forme théorique, c'est-à-dire une modification de la ligne du contour en fonction du type anatomique analysé.

Le nombre d'or décrit par Fibonacci en 1175 a été appliqué à la dentisterie par E. Lewin, puis par J. Preston en 1995 (30). Les résultats sont particulièrement bien utilisés par la CFAO


27


28

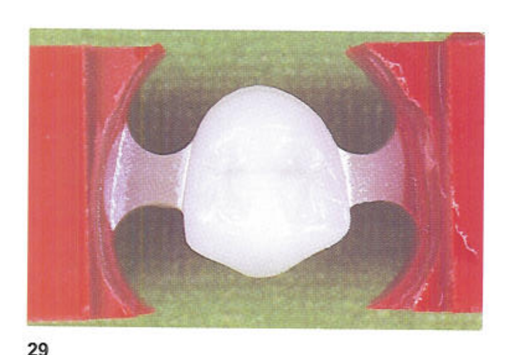

29

Fig. 27, 28, 29 - Résultat d'usinage par CFAO dans le Système Hennson. On notera que les trajets d'usinage donnent une note très agréable au rendu de surface

dentaire car il est aisé au traitement d'images de retrouver les proportions relatives des incisives et canines et de les reporter sur le modèle de la dent théorique même en l'absence de dent (par la simple mesure des étages de la face).

Diastème

Le diastème fait partie des questions posées dans l'information de la fiche du patient informatisé. Pour créer un diastème, il suffit de préciser s'il existe sur la fiche du patient, puis d'indiquer sa valeur. Le logiciel applique un facteur d'élargissement "d'âge" de 30% seulement car la surface est supposée moins usée.

Nous avons vu aussi que cet élément fait partie des étapes de la modélisation au niveau de l'embrasure, des contacts ou de la ligne de contour. Une simple information sur la fiche d'ouverture du dossier, avec indication de la zone des diastèmes, conduira à la création automatique de l'espace interdentaire. Cette manipulation reste malgré tout très simple et interactive.

LES ÉLÉMENTS BIOLOGIQUES DE MODÉLISATION EN CFAO

Ces éléments n'ont jamais été incorporés à des logiciels de CFAO dentaire à l'exception de l'un d'eux, la hauteur des lèvres.

Pourtant il existe un certain nombre d'éléments esthétiques à respecter (30) :

- la hauteur des gencives,
- la forme des gencives et des papilles,
- la phonétique,
- les besoins fonctionnels.

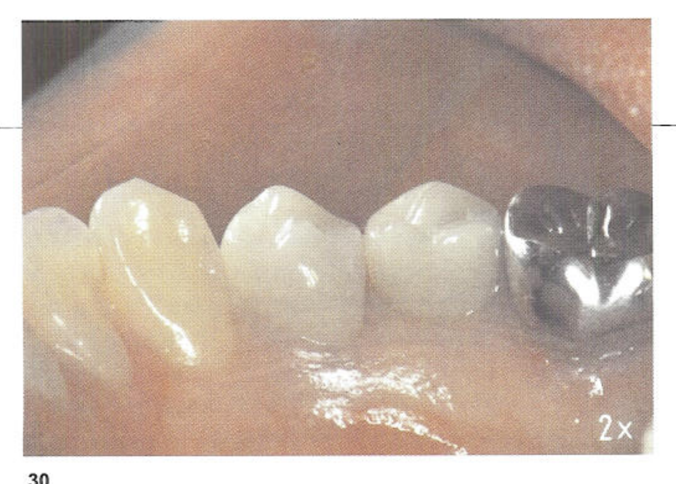
Il est certain que l'association des caméras extra et endo-buccales, et les outils de modélisation par CFAO, permettront de parfaire ce type d'analyse. A notre connaissance aujourd'hui, seul le système Hennson permet d'intégrer la hauteur des lèvres au processus de modélisation antérieure. Cette intégration se fait au niveau du menu modélisation où apparaissait une ligne horizontale indiquée interactivement.

USINAGE ET CARACTÉRISATION

Sans doute plus spectaculaire, mais définitivement moins original, est le passage du domaine de conception virtuelle à la création finale réelle de la dent. Nous ne la décrirons pas puisqu'elle utilise des procédés traditionnels à l'exception de l'activation photonique des pigments.

En CFAO (14, 16, 17, 18, 21, 22, 29, 36), tout matériau peut être usiné : titane (Nikon, GC ou Titan), composite ou céramique (tous les systèmes).

La caractérisation se fait de trois manières différentes, soit en couche successive (Cicero), soit en maquillage de surface (la plupart des sys-



30



31



32



33

tèmes), soit encore en activation photonique de pigments internes (21). Dans tous les cas, nous savons maintenant, grâce aux 12 années de recul du Cerec ou du Procera que le doute n'est plus permis sur la stabilité de ce type de coloration. La qualité du rendu reste parfaitement comparable aux systèmes les plus sophistiqués (fig. 27 à 33).

CONCLUSION

Les outils dont disposent aujourd'hui les appareils de conception informatique sont suffisamment spectaculaires pour s'imposer dans le monde de la reconstitution esthétique des prothèses. En douter aujourd'hui est une erreur. Certes, il a fallu de nombreuses années et des milliers d'heures de travail pour y arriver, et je tiens à rendre hommage en particulier à mes collègues de travail de la société Hennson[2], des équipes du Cerec, du Nikon GN-1, de GC System, du Cicero ou du Procera qui ont permis à la dentisterie de franchir d'une façon spectaculaire des obstacles conceptuels réputés infranchissables par d'autres corps de métier. Il reste encore à stabiliser ce travail fondamental mais chacun s'y emploie.
La véritable révolution de la CFAO dentaire commence aujourd'hui après la traversée d'un long désert. La chute des coûts de l'informatique et la multiplication de la performance des calculateurs et des centres robotisés laissent penser que le mouvement devient irréversible. Reste à savoir si

[2] *Sous l'égide de Jean-Pierre Hennequin trop souvent oublié*

Fig. 30, 31, 32, 33 - Le Professeur Uchiyama et le Doceurr Hikita, que nous remercions, ont su transposer cliniquement les résultats de la CFAO et porter le rendu esthétique de ces couronnes usinées à un très haut niveau (Système GN-1)

l'esthétique y trouvera sa place. Selon nous, elle se révèlera dans l'association du matériau et de l'analyse extra-buccale. Les ténors en la matière, comme GC, proposent déjà des kits spécifiques pour la CFAO avec du titane, de la céramique ou du composite associés à des concepts différents de maquillage. Pour ce qui est des analyses faciales... extra-buccales en général, du travail reste à faire mais ne doutons pas que les nouvelles générations sauront y œuvrer avec succès.

BIBLIOGRAPHIE

1. BESIMO - Digitising Computer System DCS-Polyvalenter Einsatz der CAD/CAM. *Conférence au 50th Anniversary of Quintessence.* Quintessence, Berlin, 1999.
2. BIESADA A.M. - Tooth tech : the new dentistry. *High Technology Business,* 4 : 28-31, 1989.
3. DE MUTAIN A. - Encuentros sobre el futuro de la Protesis dental. *Dental Protesis,* 29 : 12-13, 1987.
4. DURET F. - *Empreinte Optique.* Thèse de second cycle en chirurgie dentaire, n° 174, Faculté dentaire de Lyon, 1973.
5. DURET F. - Vers un nouveau symbolisme pour la réalisation de nos pièces prothétiques. *Cah. Proth.,* 50 : 65-71, 1985.
6. DURET F., BLOUIN J.L. et NAHMANI L. - Principe de fonctionnement et application technique de l'empreinte optique, dans l'exercice de cabinet. *Cah Proth.* 50 : 73-109, 1985.
7. DURET F. - Official Public Report : *rapport Odontologique d'expertise,* ANVAR, Paris, 1987.
8. DURET F., J.L. BLOUIN et B. DURET - CAD CAM in dentistry. *J. Am. Dent. Assoc.,* 117 : 715-720, 1988.
9. DURET F., TOUBOL J.P., JORDAN F. et GORGET Ch. - La lecture des mouvements mandibulaires par un système optoélectronique. *Chir Dent. de France,* 58 : 21-29, 1988.
10. DURET F., J. PRESTON et CHAPOULAUD E. - CAD CAM in the dental Office. *The Quintessence,* 10 : 37-55, 1991.
11. DURET F. - Occlusal Adaptation by CAD CAM. in *Advanced Prosthodontics Worldwide.* WCP Hiroshima, ed. Hiroshima 1991.
12. DURET F. - La CFAO dentaire, six ans après la première présentation au congrès de l'ADF de 1985. *Act. Odonto. Stom.,* 175 : 431-454, 1991.
13. DURET F. - The Systeme Sopha CAD CAM. *ATD,* 3 : 241-252, 1992.
14. DURET F. - The dental robotic, in *Dental encyclopedia,* Hardin, Ed. Lincholl Company, Philadelphia. Pp. 1-24, 1992.
15. DURET F., PRESTON J. et DURET B. - Performance of CAD/CAM Crown Restorations. *CDA,* 24 : 64-71, 1996.
16. DURET F. - CAD CAM around the world, the GC System global computing concept. in *6th Int. Acad. of Dental Computing.* JACAD, ed., Yokohama, 1997.
17. GRABER G. et BESIMO C. - Le système céramique performant DCS. *A.T.D.,* 6 : 309-313, 1995.
18. HEGENBARTH E.A. - Procera aluminium oxide ceramics. A new way to achieve stability, precision and esthetics in all ceramic restorations. *QDT,* 1 : 21-34, 1996.
19. HENNSON I. - *Manuel d'utilisation, CAD.* 2ème ed. Manuel, ed. Hennson. Vol. 2. Lyon: Hennson int. 180, 1991.
20. HINAULT B. - *De l'identification en Odontologie légale : Marquage prothétique informatisée,* Fac de Ch. Dentaire Paris Descartes, 1986.
21. KAWANAKA M. - Development of the dental CAD/CAM System. *J. Osaka University,* 35 : 206-238, 1990.
22. LANG B.R. - The Procera all-ceram restoration, *Am. Coll. of Prothodontic,* 1997.
23. MARIA B. et S. NAUDINAT - Démonstration de l'empreinte optique. *Tonus dentaire,* 31 : 11-14, 1983.
24. McLEAN J. - The science and art of dental ceramics. In. *Proceedings of the first Int. Symposium on ceramics,* ed. J. McLean.Quintessence Publishing, Chicago, Berlin. 512, 1982.

25. MIYAZAKI T. - Automatic fabrication of dental restaurations by CAD CAM. *QDT. (Focus on Technology)* 22 : 5-19, 1997.

26. MORMANN W. et BINDL A. - The new creativity in ceramic restoration: Dental CAD CAM. *Quitessence Int* 27 : 821-828, 1996.

27. PERELMUTER S. - *Esthétique en Odontologie.* Editions SNPMD, Paris. Pp. 316, 1987.

28. PRESTON J. - Perspectives in dental Ceramics. In *Proceeding of the fourth International Symposium on Ceramics,* ed. J.D.Preston. Vol. 1. Quintessence Publishing, Chicago, Berlin. 472, 1988.

29. PRESTON J. et DURET F. - CAD/CAM in dentistry. *Oral Health,* 87 : 17-27, 1997.

30. PRESTON J. - Esthetics in Dentistry. *http//www-hsc.usc.edu/-jpreston/introduction.html.* 1 : 1-28, 1998.

31. REISS B. - State-of-the-Art der CAD/CAM-Systeme. *Conference au 50th Anniversary of Quintessence.* Quintessence, Berlin, 1999.

32. SALIGER G. - *Designing a Cerec crown,* in *CAD/CIM in aesthetic dentistry,* Mormann, Ed. Quintessence Pub., Zurich. p. 427-440, 1996.

33. SIEKIERSKI K.M. - The Pro-CAM CAD/CAM System. *Dental Products Report,* 11, 1995.

34. STACHNISS V. et STOLL R. - Computer technologies in dentistry : cerec and other methods. Dans *Int. Symposium on computer restorations,* ed. Mormann. Vol. 1. Quintessence Books, Zurich. P. 632, 1991.

35. UCHIYAMA Y. - Production of metal crowns by CAD CAM. *The Quintessence,* 10 : 111-117, 1991.

36. UCHIYAMA Y. - Clinical case of crown and bridge using CAD CAM technique. in *6th Int. Acad. of Dental Computing* JACAD ed., Yokohama, 1997.

37. VAN DER ZEL J. - Ceramic-fused-to-metal restorations with a new CAD CAM system. *Quintessence Int.* 24 : 769-778, 1993.

38. VOGT P.L. et DURET F. - CAD/CAM U.S., Hunderds witness dental History. *Day by Day and Video,* 27 : 2-4, 1989.

39. WEIGL P. - Die innovative Software des CAD/CAM Systems CeraDent. Conférence au *50th Anniversary of Quintessence.* Quintessence, Berlin, 1999.

40. WEISS R. - Crowning Achievements. *Science News* 134 : 370-371 and 369-384, 1988.

41. WILLIAMS A.G. - Dentistry and Cad Cam, Another french revolution. *J. Dent. Practice. Adm,* 4 : 2-5, 1987.

Correspondance :
François Duret
Château de Tarailhan
11560 Fleury d'Aude
FRANCE

ABSTRACT

PRESENT CONTRIBUTIONS AND PRESPECTIVES OF DENTAL CADCAM

The integration of esthetic rules is a major element in prosthetic reconstructions for dental CadCam. The method followed in this technology is divided into three units : the memorization of the rules and the basics, for example the morphology of theoretical teeth; the recording of information regarding the patient's mouth; and, finally, the combination of these two elements in a specifically adapted software. The remarkable definition of the views as well as the spectacular evolution of the robotics associated with a drop in costs, guarantees a great future for this modern technology.

RESUMEN

CFAO - APORTE ACTUAL Y PERSPECTIVAS

La integración de reglas estéticas es un elemento mayor de la reconstrucción protética en CFAO dental. El método adoptado para esta tecnología se divide en tres unidades combinadas: memorización de las bases y las reglas (por ejemplo la morfología de dientes teóricos), toma de información en la boca del paciente y recopilación de estos dos elementos en un sofware especialmente adaptado. La sorprendente definición de las vistas, así como la evolución espectacular de la robótica asociada a una disminución de precios, garantiza un futuro próspero a esta tecnología avanzada.